

Histología foliar comparativa de plantas masculina y femenina de algarrobo (*Ceratonia siliqua* L., Fabaceae), proveniente de Lampazos, Nuevo León, México

Comparative leaf histology of male and female plants of carob (*Ceratonia siliqua* L. Fabaceae), from Lampazos, Nuevo León, Mexico

José Francisco Rodríguez-Martínez¹, Aracely García-Alvarado¹,
Laura María González-Méndez¹, Silvia Yudith Martínez-Amador¹,
Sofía Comparán-Sánchez¹, Angélica Martínez-Ortiz¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. laura.gonzalez@uaaan.mx (*Autor responsable)

RESUMEN

El algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) es una especie mediterránea alternativa en la producción alimentaria para las zonas áridas del noreste de México. Existe información variada sobre esta especie en cuanto a su estructura externa y sus propiedades industriales, alimenticias y medicinales, pero carece de estudios histológicos que permitan conocer su anatomía interna, correlativa con las condiciones ambientales locales. El objetivo del presente estudio es, por tanto, comparar histológicamente folíolos de plantas maduras masculina y femenina, situados en los niveles apical, medio y basal de la copa arbórea, a fin de encontrar variaciones estructurales por influencia del sexo y el medio ambiente. Se colectaron hojas bipinnadas de árboles individuales en Lampazos, N.L., y de cuyos folíolos se obtuvieron laminillas de secciones transversales en Saltillo, Coah. El análisis estadístico revela diferencias altamente significativas en el espesor del parénquima empalizada, que presentó tres estratos en los folíolos femeninos y dos estratos en los masculinos, en los tres niveles de la copa arbórea; un parénquima esponjoso estadísticamente no significativo entre ambos sexos, y la anchura del vaso de xilema en la vena central superior en las plantas masculinas, siendo esta última variable más evidente en el nivel medio de la copa. Se concluye que el parénquima empalizado en folíolos femeninos representa una mejor adaptación a la intensidad luminosa, y los vasos de los folíolos masculinos, una mayor respuesta al estrés hídrico.

Palabras clave: histología de folíolos, tejidos foliares, folíolos masculino y femenino.

ABSTRACT

Ceratonia siliqua L. (carob) is an agricultural alternative to arid zones of Northeastern Mexico. Studies providing information about this plant are various, but mostly focused on its external morphology, as well as on nutritional and medical properties. Lacking information about its internal structure, particularly foliar tissues, it is the aim of the present study, to compare histological foliar traits, in mature male and female plants, at the apical, medium and basal crown levels, searching for structural variations due to sex and environment. Bipinnated leaves were collected in Lampazos, N.L. from individual trees, and taken to the laboratory in Saltillo, Coah. where follicles were processed to obtain permanent slides of transverse sections. Statistical analysis revealed highly significant differences in palisade parenchyma thickness, being three-layered in female follicles, while two in the male ones, at the three crown levels; no significant differences were found in spongy parenchyma between sexes, and xylem vessels in the major vein showed greater diameter in male than in female plants, being this last trait more evident in samples taken from the medium third of the crown. Results indicate that histological foliar structure is both influenced by sex and environment, showing female follicles a better adaptation to light intensity, and male follicles, a bigger response to water deficiency stress.

Key words: follicle histology, leaf tissues, male and female follicles.

INTRODUCCIÓN

El algarrobo (*Ceratonia silicua* L.) es una especie de origen mediterráneo, perteneciente a la familia *Fabaceae* del complejo de las leguminosas, que crece en el noreste de México, en condiciones de temperatura elevada, escasez de agua, suelo deficiente en nutrientes, y posee propiedades que permiten emplearla en los ámbitos industrial, alimentario, forrajero, forestal y medicinal (Spina, 1989). Estrada y Marroquín (1992) describen al algarrobo como un árbol que supera los 12 metros de altura, perenne, dioico, aunque existen individuos hermafroditas; las hojas son alternas, bipinnadas, con tres a cinco pares de folíolos oval-elípticos, de 3-5 cm de longitud, margen entero, de color verde oscuro brillante en su cara adaxial (Guillén *et al.*, 2018). El fruto es una legumbre indehiscente carnosa, coriácea, de 10 a 25 cm de longitud y 2 a 3 cm de anchura, en racimos caulógenos, arqueados y péndulos (Estrada y Marroquín, 1992; Guillén *et al.*, 2018).

Estudios realizados en diversas especies, tanto de climas templados como tropicales, han demostrado la existencia de plasticidad fenotípica debida a variaciones ambientales, como irradiación solar y humedad (Ivanovich, 2011), manifestándose un desarrollo y productividad particulares. Se han encontrado diferencias anatómicas a nivel foliar como, por ejemplo, un mayor grosor y proporción de parénquima en empalizada, pared celular y cutícula engrosadas en la epidermis, mesofilo compacto, haces vasculares y esclerénquima de mayor tamaño, como respuesta a condiciones ambientales extremas (Rodríguez *et al.*, 2000; Aranda *et al.*, 2001; Hovenden y Van Der Schoor, 2003; Castro y Granada, 2010; Jáuregui y Torres, 2014). Ashton *et al.* (2011) encontraron en *Betula papyrifera* variaciones en la estructura de la hoja a diferentes niveles de la copa arbórea, lo que relacionaron a diferencias en intensidad de luz y humedad. El objetivo del presente estudio fue encontrar variaciones en tejidos foliares de plantas masculina y femenina de algarrobo, y en tres niveles de la copa arbórea (apical, medio y basal), a fin de determinar variaciones en algunas características estructurales debidas a la influencia del sexo y a condiciones ambientales en la copa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Lampazos de Naranjo, N.L., se encuentra localizado en las coordenadas 27° 01' de lati-

tud Norte y 100° 31' de longitud Oeste, a una altitud de 335 msnm, temperatura media en verano de 30° C, una precipitación anual acumulada de 425 mm, un clima seco estepario y suelos dominantes del tipo regosol, xerosol y litosol (INEGI, 2014).

Para realizar el trabajo de esta investigación se realizó la colecta *in situ* de 10 hojas bipinnadas en 10 individuos femeninos y masculinos, en los tercios apical, medio y basal de la hoja, respectivamente, durante el inicio de los veranos de 2012, 2013 y 2014. Se fijaron muestras de seis folíolos por hoja y por individuo y se sumergió 1 g de secciones en líquido fijador F.A.A. (alcohol etílico a 70%, ácido acético glacial a 5% y formalina a 5%) (Gaviño, 1979). El material vegetal se trasladó al Laboratorio de Anatomía e Histología Vegetal del Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, el cual se sometió a la técnica histológica vegetal (Johanssen, 1940, Gaviño *et al.*, 1979), para obtener secciones de 16 μ m de grosor, para lo que se empleó un micrótomos rotatorio American Optical modelo 820. Los cortes se tiñeron con Safranina O y Verde Rápido, para finalmente montarlos con Bálsamo de Canadá. Se obtuvieron 100 preparaciones permanentes por unidad experimental, además de micrografías de las secciones de mejor calidad, con el programa Axovision 2.0. Se realizaron mediciones a través de un micrómetro ocular. Las variables de estudio fueron: número de capas y espesor de parénquima en empalizada, grosor de parénquima esponjoso, diámetros ecuatorial y polar del vaso de la vena central. Los datos se sometieron a análisis de varianza en un diseño factorial completamente al azar, y a la prueba de comparación de medias de Tukey con el paquete estadístico SAS; también se realizó una descripción morfológica de los tejidos estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados cuantitativos de cada una de las variables anatómico-histológicas evaluadas, se muestran en el Cuadro 1. El parénquima en empalizada registró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) en el espesor y en el número de estratos entre las plantas masculinas y femeninas, ya que fue mayor en los folíolos femeninos al presentar tres estratos celulares, mientras que sólo dos en los masculinos en los niveles apical, medio y basal de la copa arbórea. En ambos sexos, las células se observan lar-

gas, con forma de columna, disposición compacta, y con espacios intercelulares indistinguibles. Su pared celular exhibe una tinción verde intensa, al poseer mayor contenido de celulosa y gran cantidad de cloroplastos (Esau, 2008).

En el estudio realizado por Xu *et al.* (2008) en árboles femeninos y masculinos de *Populus cathayana*, encontraron que en las hojas de plantas femeninas, además de poseer un mayor número de capas de este tejido, exhibieron una mayor tasa fotosintética. Otro tejido, el parénquima esponjoso, posee células redondeadas, lobuladas, con grandes espacios aéreos (Esau, 2008), y un espesor estadísticamente no significativo entre ambos sexos, aunque los espacios aéreos parecen ser más grandes en los folíolos de

plantas masculinas. Xu *et al.* reportan en *Populus cathayana* (2008) un mayor intercambio gaseoso, así como una tasa más elevada de transpiración en las hojas de plantas masculinas debido a un parénquima esponjoso con mayor espacio aéreo que en las femeninas. En el estudio de Jaúregui *et al.* (2014), especies del género *Miconia* presentaron un incremento en la proporción de parénquima esponjoso y en empalizada, debido a que habitan lugares con condiciones de sequía estacional y de intensidad luminosa elevada; en el género *Bursera*, Castro y Granada (2010) encontraron un parénquima esponjoso, correlativo a condiciones de elevada radiación solar y temperatura, así como de intensa sequía. Otra variable que arrojó información fue el ancho de los elementos de

Cuadro 1. Valores promedio de caracteres anatómico-histológicos de folíolos masculinos y femeninos de algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.), a diferentes niveles de la copa arbórea, en los veranos de 2012 a 2014.

Nivel Planta (sexo)	Apical		Medio		Basal		REND p(F ₃)
	Masculina	Femenina	Masculina	Femenina	Masculina	Femenina	
Variables (□m)							
Espesor del parénquima en empalizada	43.2 c	58.6 bc	43.1 c	67.4 ac	42.3 c	60.8 bc	<0.0001***
C.V.= 6.30							
Espesor del parénquima esponjoso	65.2 a	58.9 b	62.0 a	54.9 b	56.8 b	52.1 c	NS
C.V.= -9.90							
Diámetro ecuatorial del vaso en vena central	114.0 ab	100.0 b	96.0 bc	84.0 bc	70.0 c	71.0 c	<0.001**
C.V.= 9.00							
Diámetro polar del vaso en vena central	54.0 a	54.0 a	47.0 bc	36.0 c	39.0 cd	33.0 d	<0.05*
C.V. = 10.60							
p(F _N)	<0.0001***						

***= Diferencias altamente significativas; N.S.= Diferencias no significativas.; C.V.= Coeficiente de variación; letras diferentes a un lado de los valores medios indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey (p < 0.01).

vaso de la vena central, ya que presentaron tamaños de pequeños (33-71 μm) a mediano (84-114 μm). El diámetro ecuatorial resultó significativamente diferente en los folíolos masculinos, en los niveles medio y apical de la copa arbórea; el diámetro polar tuvo significancia en los niveles medio y basal (Cuadro 1). De acuerdo con el estudio que Montaña *et al.* (2014) realizaron en cinco especies del género *Mimosa* (Mimosaceae), el valor de la anchura de vasos pequeños (58-75 μm) y mediano (104 μm), poseen similitud con los encontrados en *C. siliqua*. Los valores pequeños indican que existe poca resistencia al estrés hídrico, y los valores más altos en folíolos de plantas del sexo masculino podrían indicar que poseen mejor adaptación al déficit hídrico. Los vasos estrechos en el xilema son considerados una ventaja adaptativa en hábitats secos, con menor exposición al fenómeno de cavitación (ruptura de la columna de agua), que los vasos de mayor calibre (Yang y Tyree, 1992; Mauseth y Plemons-Rodríguez, 1998; Esau, 2008; Bunticinco *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Los tejidos foliares del algarrobo (*Ceratonía siliqua* L.) experimentaron variaciones en los sexos masculino y femenino, así como en los niveles apical, medio y basal de la copa del árbol. El parénquima en empalizada presentó diferencias altamente significativas a nivel de sexo, ya que el espesor fue mayor en los folíolos femeninos, al presentar tres estratos celulares, mientras que en los masculinos exhibieron dos en los tres niveles de la copa. El parénquima esponjoso no presentó diferencias significativas a nivel de sexo, pero sí un mayor espacio aéreo. El diámetro ecuatorial del vaso de xilema en la vena central fue mayor en los folíolos masculinos, en los niveles medio y apical de la copa; el diámetro polar en los niveles medio y basal, fue también significativamente mayor en los folíolos masculinos. Las diferencias encontradas en este estudio podrían ser resultado de la influencia del sexo y del ambiente en cada nivel de la copa arbórea. Los folíolos femeninos mostraron adaptación a la alta intensidad lumínica, en tanto que los masculinos al déficit hídrico, propios de las zonas áridas y semiáridas, particularmente del clima seco estepario de la localidad de Lampazos, Nuevo León. Sería importante continuar este tipo de estudios en otras especies vegetales dioicas, con un enfoque dirigido a aspectos productivos.

AGRADECIMIENTOS

Al finado Dr. José Francisco Rodríguez Martínez, por su valiosa participación como responsable de este estudio, y a Angélica Martínez Ortiz, por su gran apoyo con la técnica histológica.

LITERATURA CITADA

- ARANDA, I., Bergasa, L.F., Gil, J. y J.A. Prados, 2001. Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus silvestris* L. stand after thinning. *Annals of Forestry Sciences* 58: 673-680.
- ASHTON, P.M.S., L.P. Olander, G.P. Berlyn, R. y J.R. Cameron. 2011. Changes in leaf structure in relation to crown position and tree size of *Betula papyrifera* within fir-origin stands of interior Cedar hemlock. *Canadian Journal of Botany* 76: 1180-1187.
- BUNTCINCO, L., Prima, A., y G. Alfonso. 2011. Leaf anatomy of *Gaillardia cabreræ* (K.) (Asteraceae): basic plan and comparative study of two contrasting habitat populations. *Boletín de la Sociedad Botánica Argentina*. 46(1-2): 399-406.
- CASTRO, M. y W. Granada. 2010. Anatomía foliar de especies de *Bursera* Jacq (*Burseraceae*) presentes en Venezuela, sus implicaciones taxonómicas y ecológicas. *Ehnsia* 20: 89.
- ESTRADA, C.E. y J. Marroquín de la Fuente. 1992. *Leguminosas en el Centro-Sur de Nuevo León*. Reporte Científico No. Especial 10. Facultad de Ciencias Forestales. UANL, México, pp. 15 y 16.
- ESAU, K. 2008. *Anatomía vegetal*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 420 pp.
- GAVIÑO DE LA TORRE, G., C. Juárez-López y H. Figueroa-Tapia. 1979. *Técnicas biológicas selectas de laboratorio y campo*. Limusa, México, pp. 57-79.
- GUILLÉN, A., Ferrer-Gallego, P.P., Serena, V. y J.B. Peris. 2018. El algarrobo (*Ceratonía siliqua* L.), importancia paisajística, económica y perspectivas de futuro. *Chronica Naturae*, 7: 45-54.
- HOVENDEN, M.J. y J.K. Van Der Schoor. 2003. Nature vs. Nurture in the leaf morphology of southern beech *Notophagus cumminghamii* (Notophagaceae). *New Phytologist* 161: 585-594.
- INEGI, 2014. *Anuario Estadístico*. Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- JÁUREGUI, D. y S. Torres. 2014. Anatomía de la lámina foliar de especies arbóreas predominantes en la estación experimental Nicolasito, Estado Guárico, Venezuela. *Cumaria* 26: 4.

- JOHANSEN, D.A. 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill. New York y London. 489 pp.
- MAUSETH, J.D. y B.J. Plemons-Rodríguez. 1998. Evolution of extreme xeromorphic characters in wood: a study of nine evolutionary lines in Cactaceae. *Amer J. Bot* 85: 209-218.
- MONTAÑO-ARIAS, S. A., Camargo-Ricalde, S.L. y C. D.P. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la amdera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1):1-10.
- RODRÍGUEZ-MARQUES A., Q. Souza-García, J.L. Passos-Rezende y G.W. Fernandes. 2000. Variations in leaf characteristics of two species of *Miconia* in the Brazilian cerrado under different light intensities. *Tropical Ecology* 41: 47-60.
- SPINA, P. 1989. *El algarrobo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 155 pp.
- XU, X., Peng, G., Wu, Ch., Korpelainen, H. y Ch. Li, 2008. Drought inhibits photosynthetic capacity more in females than in males of *Populus cathayana*. *Tree Physiology*. 28: 1751-1759.
- YANG, S. y M.T. Tyree. 1992. A theoretical model of hydraulic conductivity recovery from embolism in comparison to experimental data on *Acer saccharum*. *Plant Cell Environ* 15: 633-643.